

# novosti i zanimljivosti

Uređuje: Mirko Klaić, dipl. ing.

## Memorije: Projekt *Millipede*

Prikazat ćemo u kratkim crtama vrlo zanimljiv projekt, koji se odvija u tvrtki IBM i to u jedinici u Zürichu, Švicarska. Radi se o razvoju memorije velikog kapaciteta, tj. velike gustoće podataka, koja bi nadmašila današnje najbolje memorije s pogonom.

Budući da se u mikroelektronici kod nekih proizvoda s obzirom na minijaturizaciju već približila granica preko koje se poznatim načinima proizvodnje vjerojatno ne može, prelazi se već i na nanotehnologiju kao područje za koje se vjeruje da će značajno pomaknuti spomenute granice, a o čemu smo već pisali. Treba odmah napomenuti da su neki članovi projektnog tima aktivni i na području nanotehnologije. Posebno je zanimljivo da je za rad buduće memorije, tj. za upisivanje i čitanje podataka odabran *elektromehanički princip* sličan onome kod *atomic force microscopa (AFM)*, koji je jedan od najvažnijih instrumenata u istraživanju i gradnji u nanotehnologiji. Na njegovu razvoju su također radili neki članovi tima i jasno je da je ideja došla iz tog područja. Najbitnije kod AFM-a je njegov sićušni oštri šiljak (širine oko 20 nm) na kraju savitljive polugice (*cantilever*). Npr., pri snimanju neke površine šiljak pri pomicanju slijedi neravnine, a to izaziva savijanje polugice. Posebnim načinom se mjeri savijanje i potom obrađuje računalom.

Kod memorije o kojoj je riječ koristi se veliki broj silicijskih polugica sa šiljcima na krajevima, koji zagrijani i pritisnuti na pločicu polimera prave u njemu sićušne udubine stožastog oblika, koje znače digitalnu jedinicu, a odsutnost udubine je digitalna nula. Npr., na čipu je 4096 polugica složenih u poredak  $64 \times 64$  sa šiljcima prema gore. Iznad njih je, na vrlo maloj udaljenosti, pločica polimera, koja se sićušnim elektromagnetičima pomiče u oba smjera kako bi se cijela površina pločice iskoristila za zapisivanje vrlo velikog broja bitova.

Odmah na početku projekta bilo je jasno da se mikroelektromehanički sustav (MEMS), kada se radi o brzini ne može usporediti npr. s brzim diskovima ili tranzistorima. Da bi se tome doskočilo, memorija radi s *velikim brojem polugica*, tj. organa za upisivanje i čitanje podataka paralelno. Jednostavno rečeno – veliki broj sporih ipak radi brzo! Zbog sličnosti sa stonogom projekt je dobio ime *Millipede*. Čipovi će se normalno proizvoditi kao današnji silicijski čipovi.

Taj tzv. nanopogon radi na sljedeći način:

*Upisivanje bitova.* Pomoću topline i mehaničke sile šiljci prave stožaste udubine (dubina oko 25 nm i širina oko 40 nm) u ravnom nizu što se postiže pomicanjem u skokovima polimerne pločice. Udubine predstavljaju seriju *digitalnih jedinica*. Da bi se napravilo udubljenje, impuls struje proteče kroz polugicu oblika slova U i u dopiranom području kod šiljka izazove temperaturu od oko 400 °C. Prednapregnuta polugica se zbog toga savije

prema polimeru, koji zbog topline omekša i šiljak uđe u njega. Kada udubine nema, to znači *digitalnu nulu*.

*Čitanje bitova.* Za čitanje podataka šiljak se kratkim impulsom struje zagrije na oko 300 °C, pa se polugica savije prema gore. Ako šiljak uđe u udubinu, on prenese toplinu na plastiku, što izazove pad temperature i otpora. Digitalni signalni procesor pretvori tu promjenu stanja u digitalni podatak. Kada šiljak ne uđe u udubinu, te promjene nema i podatak je digitalna nula.

*Brisanje bitova.* Treći prototip *Millipeda* briše postojeći bit zagrijavanjem šiljka do 400 °C i pravljenoj nove manje udubine u neposrednoj blizini postojeće. Plastika omekša i praktički ispunio postojeću udubinu. Alternativni način brisanja radi tako da se vrući šiljak kratko vrijeme umetne u udubinu, a polimer omekša i zatvori udubinu, tj. vrati polimer približno u početno stanje.

Na početku rada na projektu bilo je mnogo problema i pitanja, ali projektni tim je ipak svoj prvi prototip od 25 polugica u poretu  $5 \times 5$  na 25 mm<sup>2</sup> prikazao 1998. godine. Nakon rješenja nekih problema, nešto kasnije napravljen je drugi prototip, koji je radio sa 1024 šiljka u poretu  $32 \times 32$  na čipu stranice 3 mm. Taj prototip je već imao i sve elektromehaničke dijelove za pomicanje polimerne pločice. Polugice su bile duge 50 nm, a impuls struje kroz polugicu zagrijao bi šiljak na oko 400 °C u vremenu od nekoliko mikrosekundi.

Koncem 2002. godine dovršen je treći prototip sa 4096 polugica, tj. šiljaka složenih u poretu  $64 \times 64$  na čipu stranice 6,4 mm. U projektnom timu izjavljuju da su u stanju napraviti takav čip s milijun šiljaka i 250 takvih čipova na jednom silicijskom waferu promjera 200 mm. U prošloj godini su također izjavili da mogu izraditi takvu memoriju s bilijun bitova! Treba, naime, naglasiti da su udubine, tj. bitovi međusobno na razmaku od 40 nanometara, što znači da je *gustoća podataka oko 30 puta veća* od gustoće najboljih na tržištu memorija s pogonom.

Ako daljnji rezultati budu takvi da se nastavi rad na projektu, očekuje se da će se oko 2005. godine moći kupiti memorija veličine poštanske marke za npr. digitalnu kameru ili prijenosnu igraonicu MP 3. Memorija ne će sadržavati samo nekoliko desetaka MB za video ili audio, nego nekoliko GB – dovoljno za memoriranje cijele kolekcije CD-a s glazbom ili nekoliko igranih filmova. K tomu će se podaci moći čitati i brisati.

Članovi projektnog tima još ne mogu tvrditi da će projekt dati komercijalni proizvod, ali vjeruju da su već do sada učinili vrlo mnogo (prijavljeno je oko 30 patenata tijekom dosadašnjeg rada) i to na području nanotehnologije koja sigurno sve više ulazi u mnoga područja.

Da je tome tako, potvrđuje i sljedeća tablica u kojoj su navedeni slični projekti memorija velike gustoće podataka:

Tvrtka	Način rada	Kapacitet memorije	Na tržištu, prognoza
<i>Hawlett-Packard</i> , SAD	Slično AFM-u koji koristi elektronsku zraku za pisanje i čitanje podataka na površini.	najmanje 1 GB za početak	konac dekade
<i>Hitachi</i> , Japan	Naprava temeljena na AFM-u. Specifikacija nije objavljena.	nije objavljeno	nije objavljeno
<i>Nanochip</i> , SAD	Polugice kao kod AFM-a za spremanje podataka na silicijskom čipu.	polu GB na početku; potencijalno 50 GB	očekuje se u 2004. g.
<i>Philips</i> , Nizozemska	Optički sustav sličan CD-u s ponovnim upisivanjem; plavi laser za pisanje i čitanje podataka na disku veličine 3 centimetra.	do 1 GB po strani, a možda ukupno 4 GB	očekuje se u 2004. g.
<i>Seagate Technology</i> , SAD	Sustav s ponovnim upisivanjem pomoću AFM ili drugim načinom za čip veličine centimetra.	ne manje od 10 GB na čipu za prijenosne aparate	očekuje se u 2006. g. ili kasnije

Sc Am January 2003

## Proizvodna linija koja radi 10 000 varijanti

Finski predsjednik nedavno je službeno otvorio fleksibilnu proizvodnu liniju za regulirane motorne pogone u tvornici ABB, Helsinki. Radi se o proizvodnji pretvarača za napajanje i regulaciju izmjeničnih motora. Linija, s nadimkom »Galactica« buduću da se koristi futurističkim proizvodnim tehnologijama, projektirana je da omogući »masovnu proizvodnju po mjeri« motornih pogona, pridjeljujući im specifičnosti prema primjeni za vrijeme dok se kreću uzduž linije.

Na početku će linija proizvoditi 100 pogona dnevno u opsegu snage 100 do 610 kW, a poslije će se proizvodnja povećati na 150 pogona dnevno. Linija, opremljena robotima tvrtke ABB, kao i druga sredstva automatizacije, teče i testira rutine, troši oko 4,5 sati za gradnju jednog pogona – oko 30 % brže nego je to bilo moguće prije. Može ponuditi oko 10 000 različitih varijanti pogona.

U tvrtki izjavljuju da ne proizvode pogone po mjeri, ali ih mogu »skrojiti« u normalnoj proizvodnoj proceduri. Navode još da tvrtka treba investirati u fleksibilnu proizvodnu tehnologiju i za svoje pogone srednje i velike snage da bi zadovoljila rastuću potražnju za tim proizvodima i omogućila isporuku proizvoda po mjeri.

Mnogo očekuju od novih ABB *Adaptive Industrial Drives* i uvjereni su da će ti proizvodi više nego zadovoljiti zahtjeve kupaca.

Drives &amp; Controls, March 2003

## Čip koji svijetli

Optički prijenos podataka je zaista brz, ali za obradu ili manipulaciju tim podacima potrebno je svjetlost uz troškove pretvoriti u struju – i konačno možda opet u svjetlost. Integracija optičkih i električkih komponenata na

jednom čipu je san mnogih koji rade na razvoju komunikacijske tehnike.

Mogu li izvori svjetlosti na osnovi silicija postići djelotvornost tradicionalnih spojnih poluvodiča u emitiranju svjetlosti kao npr. galij-arsenid? Novi postupak tvrtke STMicroelectronics utire put mnogim potencijalnim primjenama, u kojima će optičke i električke funkcije biti integrirane na istom silicijskom čipu. To dosada nije bilo moguće, jer se silicij iako idealan za proizvodnju memorija, mikroprocesora i drugih kompleksnih spojeva, ne može koristiti kao djelotvoran izvor svjetlosti.

U osnovi se radi o inovativnoj strukturi, u koju se implantiraju ioni rijetkih zemalja (npr. erbij ili cer) u SOR sloj (*Silicon Rich Oxide*). Kod SOR sloja radi se o silicijskom oksidu, koji je obogaćen silicijskim nanokristalima od 1 do 2 nm promjera. Postignute kvantne djelotvornosti su oko 100 puta veće od onih koje su moguće kod silicija i na razini su onih koje se postižu sa GaAs i drugim spojnim poluvodičima, a koji se tradicionalno koriste za proizvodnju svjetlećih dioda. Valna duljina emitirane svjetlosti ovisi o izboru metala rijetkih zemalja kojima se dopira.

Razvoj procesa provodi STM na istom pokusnom proizvodnom postrojenju, koje im je također služilo za razvoj novih MOSFET i bipolarnih elemenata. Tvrtki je time omogućeno da ubrzano provede prijelaz od eksperimenata za provjeru koncepta na razvoj prototipa i industrijsku proizvodnju. Za prve primjene te nove tehnologije dolazi u obzir proizvodnja elemenata za upravljanje u učinkovitim krugovima u kojima je shema upravljanja izolirana električki od tranzistora koji služi kao sklopka. Sada se električko izoliranje, zahtijevano u mnogim primjenama radi sigurnosti, ostvaruje dodatnim elementima kao što su releji, transformatori ili diskretni optokopleri. Sve te varijante traže dodatne troškove, veći potrošak energije i također traže više prostora.

U novoj strukturi tvrtke STM komuniciraju dvije sheme, koje su na istom čipu, preko predajnika i prijamnika svjetlosti na osnovi silicija i međusobno su galvanski odvojene slojem silicijskog dioksida. Za te elemente postoji čitav niz važnih primjena kao npr. upravljanje motorima, sustavi napajanja, poluvodički releji i slične primjene u kojima učinski dio radi sa znatno višim naponom od napona upravljačkog kruga. Prototip čipa treba biti gotov do konca 2002. godine.

Dugoročno istražuje STM integrirane optičke sustave za obradu podataka za primjenu CMOS spojeva, u kojima bi se signal takta razvodio unutar čipa brzinom svjetlosti. Isto tako se radi na jeftinim integriranim komponentama za komunikacije sa staklenim nitima u tehnici DWDM.

D&E 12/2002

## Proizvođači čipova: neki tonu, neki plivaju

Sreća je u 2002. godini slabo služila proizvođačima čipova; za veći dio tržište je bilo surovo. Za manji dio bilo je donekle ružičasto, pa su i proširivali poslove. To je vidljivo i u tablici 10 najvećih proizvođača za prvo polugodište 2002. godine. Neka događanja i neke najave još bi mogle značajno promijeniti tablicu:

Velika tvrtka *Taiwan Semiconductor Manufacturing Co.* skočila je među 10 prvih s 15. mjesta postigavši velike uspjehe na tržištu s neizvornom proizvodnjom.

I drugi novi pridošlica je neminovan u travnju 2003. godine. To će biti kada tokijski giganti *Hitachi* i *Mitsubishi* udruže svoje proizvodnje čipova u posebnu tvrtku s poslovima od 7 mrd US\$ godišnje. Nova tvrtka će vjerojatno preuzeti drugo mjesto od *Samsunga*.

Memorije DRAM bile su uzrok pozitivnih i negativnih kretanja. *Samsung* i *Infineon* iskoristili su povoljne prilike na tržištu memorija DRAM u prvoj polovini 2002. godine. Međutim, izlazak *Toshibe* iz područja memorija DRAM spustio ga je s drugog na peto mjesto.

*Intel* zaista suvereno drži već dugo prvo mjesto. To potvrđuje njegov promet, koji je oko 3 puta veći od tvrtke na drugom mjestu!

Tvrtka *Motorola Semiconductor Product Sector* ulaže velike napore radi učvršćenja svog položaja. Naime, u tablici za prvo polugodište 1999. godine tvrtka je držala 5. mjesto, da bi se za tri godine spustila na 8. mjesto! Zbog toga povećava aktivnosti marketinga na sektoru licencija. Cilj je da najveći dio troškova razvoja (R&D) sektora čipova pokrije prihodima od licencija tj. od prodaje intelektualnih znanja (IP). Tako je izraelskoj tvrtki *Tower Semiconductor Ltd.* prodala tehnologiju za proces sa 130 nm, koji se odnosi na digitalne signalne procesore.

Velika tvrtka IBM na području poluvodiča nije tako velika i sada nije u tablici deset najvećih, nego zauzima 11. mjesto. I ta tvrtka je krenula u potragu za poslovima i odlučila se također za prodaju intelektualnih znanja (IP) na širokom planu. Prošle godine je najavila otvaranje mikroelektroničkog servisa snage 700 inženjera, koji će konzultirati svakoga o projektiranju čipova i drugom. Predviđanja da bi promet na tim poslovima u 2007. godini mogao narasti na 5 ili 6 mrd dolara, vjerojatno su optimistička.

Za obje tvrtke bit će teško postići željeno, naročito kada se uzme u obzir ovo navedeno o dva nova kandidata za tablicu iz Japana.

Deset najvećih proizvođača poluvodiča

Mjesto		Tvrtka (zemlja)	Promet, mln US\$	Promjena, %
1. polovina 2002.	Cijela 2001.		1. polovina 2002.	1. polovina 2002. prema 1. polovini 2001.
1	1	<i>Intel, SAD</i>	11 800	1
2	5	<i>Samsung, J. Koreja</i>	3 885	7
3	3	<i>Texas Instruments, SAD</i>	3 282	-14
4	4	<i>STMicroelectronics, Švicarska</i>	2 885	-18
5	2	<i>Toshiba, Japan</i>	2 875	-29
6	9	<i>Infineon Technologies, Njemačka</i>	2 503	-5
7	6	<i>NEC, Japan</i>	2 435	-25
8	7	<i>Motorola, SAD</i>	2 309	-16
9	15	<i>TSMC, Tajvan</i>	2 303	15
10	10	<i>Philips, Nizozemska</i>	2 153	-16

Izvor: IC Insights, SAD

IEEE Spectrum Jan 2003

## Veliki spremnici energije

Predviđa se da će električna energija biti najvažnija roba u 21. stoljeću. Tome se može vjerovati, budući da električna energija ima značajne prednosti u usporedbi s dru-

gim oblicima energije kada je riječ naročito o prijenosu, raspodjeli i korištenju. Ipak postoji i veliki nedostatak – teško je akumulirati veće količine električne energije uz potrebnu ekonomičnost.

Spremnici električne, ili nekog drugog oblika energije iz kojeg se jednostavno dobiva električna energija, postaju sve važniji u energetici. Kada se uopće ne koriste spremnici, proizvodni kapaciteti moraju u svakom trenutku davati snagu koja se traži i to, kako je poznato, uz velike promjene potražnje. Zbog toga je povećana ukupna instalirana snaga elektrana, a zbog promjena opterećenja potrebne su česte intervencije u sustavu. Postoji značajan broj reverzibilnih hidroelektrana, koje koriste više postavljeni spremnik kako bi u njega turbinama, koje tada rade kao crpke, dizali vodu u vremenu kada je potreba za energijom mala (npr. noću), a koristili tu vodu za proizvodnju električne energije u vremenu velike potražnje. To su najpoznatiji spremnici, ali su prilično skupi i mogu se graditi tamo gdje se može ostvariti potrebna visinska razlika između gornjeg i donjeg spremnika.

Općenito se danas, manje ili više interesantni, sustavi spremanja energije u elektroenergetici mogu podijeliti u tri skupine:

- spremnici u kojima je energija u obliku potencijalne ili kinetičke mehaničke energije: reverzibilne HE, spremnici stlačenog zraka npr. pod zemljom i zamašnjaci u posebnim slučajevima velikih, ali kratkotrajnih opterećenja,
- spremnici u kojima se čuva kemijska energija, a to su poznati akumulatori i sustav Regenesys, kojim se upravo bavimo. Kako je poznato, akumulatori su za male količine energije, dok je drugi sustav novo rješenje i može spremati velike količine energije,
- spremnici, koji su posebno zanimljivi, jer čuvaju energiju u električnom ili magnetskom polju. To znači da se praktički bez ikakvog vremenskog zakašnjenja daje električna energija potrošaču. Predstavnicima su veliki sustavi kondenzatora, budući da se danas već proizvode s kapacitetom od nekoliko tisuća farada, ali razumljivo za jako niski napon. Za spremanje energije u magnetskom polju u zadnjim godinama koriste se velike prigušnice u supravodljivom stanju protjecane istosmjernom strujom. Primjenjuju se za osjetljive potrošače koji podnose samo vrlo kratke prekide napajanja.

Niti za jedan sustav se ne može reći da je idealan, pa su znanstvenici i inženjeri dalje tragali za boljim rješenjima. Rezultat je i spomenuti sustav Regenesys, razvijen u engleskoj tvrtki *National Power*. Posao je preuzela tvrtka *Innogy Technology Ventures Limited* i uz svoju kombiniranu elektranu od 680 MW u mjestu Little Barford (Cambridgeshire) postavila je najveći takav sustav s kapacitetom spremanja energije od 120 MWh! U prvom redu spremnik služi da omogući ponovno pokretanje elektrane nakon ispada (Blackstart), zatim za pokrivanje vršnih opterećenja u mreži i također za osiguranje jalove snage u nekim režimima.

To postrojenje je izazvalo živi interes u cijelom svijetu. Najveći američki opskrbljivač električnom energijom *Tennessee Valley Authority* odlučio je instalirati isti takav sustav da bi povećao sigurnost opskrbe energijom jedne zrakoplovne baze.

Sustav Regenesys temelji se na tzv. regenerativnoj gorivnoj ćeliji (RFC). U njoj se električna energija, pri »punjenju«, pretvara u potencijalnu kemijsku energiju u dvije

otopine elektrolita na osnovi vode. Pri »pražnjenju« se ta kemijska energija pretvara u električnu energiju.

U osnovi sustav se sastoji od:

- dva spremnika za dva elektrolita iz kojih se ovi crpe i tjeraju kroz gorivnu ćeliju da se napune ili isprazne,
- regenerativne gorivne ćelije s elektrodama i membranskim izmjenjivačem iona kroz koji reagiraju elektroliti i kemijski se mijenjaju kada primaju ili odaju električnu energiju,
- poluvodičkog usmjerivača koji pretvara izmjeničnu struju u istosmjernu pri punjenju i obrnuto pri pražnjenju. Usmjerivačem, koji je isporučila tvrtka ABB a ugrađeni su poluvodiči IGCT, provode se i sve potrebne regulacije u postrojenju.
- transformatora za spajanje usmjerivača s visokonaponskom mrežom.

Zahvaljujući jednostavnom procesu u gorivnoj ćeliji, nema nikakvih emisija štetnih plinova ili slično. Spremnik Regenesys je vrlo podoban za upravljanje i intervencije u mreži zahvaljujući sljedećim osobinama:

- nakon puštanja u pogon za 10 minuta može već normalno raditi u bilo kojem režimu,
- ako je u stanju rezerve, može normalni rad postići već za 2 minute,
- kada je normalno u pogonu, može biti prekopčan iz jednog u drugi režim za ne više od 20 milisekundi!

Od predstavljenog sustava se mnogo očekuje. Imat će značajan utjecaj na planiranje budućih energetskih postrojenja i njihovo vođenje zbog toga što:

- će se zahtijevati manje proizvodnih kapaciteta, jer će se dijagrami opterećenja pokrivati pri vršnim opterećenjima iz spremnika, koji će se puniti za vrijeme malih opterećenja,
- slično će se odraziti i na prijenosne kapacitete,
- posebno je zanimljivo bolje korištenje obnovljivih energija budući da npr. snage vjetroelektrana variraju u širokim granicama. Bit će vjerojatno svrhovitije takvu energiju spremati i odavati je u vremenima velikih opterećenja.

ABB Technik 4/2002

## IGBT za 8000 V

Uvođenjem na tržište prividno jednostavne varijante silicijskog učinkog MOSFET-a – bipolarnog tranzistora s izoliranom upravljačkom elektrodom ili kratko IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), prije dva desetljeća, počelo se mnogo toga mijenjati u oblasti energetske elektronike. Radeći kao sklopka, poluvodički element zahvaljuje svoj uspjeh činjenici da zahtijeva vrlo malu energiju upravljanja da bi se prebacio iz stanja vođenja u stanje zatvaranja i obrnuto. Može se također shvatiti i kao osjetljivi ali snažni izvršni organ, koji je posebno podoban da provede naredbe upravljačke elektronike.

Budući da su zaporni naponi i struje prvih komercijalnih IGBT-a bili ograničeni na 300 do 600 V, odnosno na male iznose ampera, usredotočeni su razvojni napori poslije 1990. godine na povećanje snage sklapanja, te je ona

u međuvremenu neprekidno rasla. Sada pokušavaju inženjeri i znanstvenici u tvrtki ABB u Švicarskoj povišiti zapornost IGBT-a prvi puta u povijesti tog elementa na preko 8000 V.

Prvi prototipovi IGBT-a i diodnih čipova za rekordni napon od 8 kV mjere  $17 \times 17$  mm. Debljina čipa od približno 0,7 mm je potrebna da bi se postigao tako visoki zaporni napon. Optimiranjem izvedbe IGBT-a, tj. driftnog područja i elementarne ćelije, mogli su se postići mali gubici vođenja pri tipičnom padu napona u provodnom smjeru od 4,55 V (25 °C) odnosno 5,1 V (125 °C) i također nazivne struje od 50 A (35 A/cm<sup>2</sup>). Kod ozračenih diodnih čipova iznosi pad napona u provodnom smjeru 2,8 V (25 °C) odnosno 2,9 V (125 °C) pri nazivnoj struji od 100 A (70 A/cm<sup>2</sup>). Temperaturni koeficijenti obaju čipova brinu se za dobru raspodjelu struja između paralelnih elemenata u modulima za visoki napon.

Čipovi su izvedeni za rad u shemama s istosmjernim naponskim međukrugom od 4000 V, pri čemu je čestota ispadanja postrojenja zbog kozmičkih zraka vrlo mala. Iako je tok tih vrlo energičnih čestica gotovo zanemarivo malen, odgovoran je za vrlo važan mehanizam ispadanja kod svih visokonaponskih učinkovitih poluvodiča. Zahtjev za vrlo malom čestotom ispadanja kod istosmjernih napon-

skih međukrugova od 4000 V doveo je do povišenja zapornog napona IGBT-a na preko 8 kV. Kozmičke zrake, naime, stvaraju defekte u pravilnoj kristalnoj rešetki silicija i trajno mijenjaju fizikalne parametre monokristala silicija.

Prva električna ispitivanja dokazala su mogućnost sklapanja struje od 100 A (70 A/cm<sup>2</sup>) uz teške uvjete s induktivitetom (bez zaštitnog spoja) kod istosmjernog naponskog međukruga od 4000 V. Svladana je čak bez problema pogonska smetnja uključivanja IGBT-a kada to čini kratki spoj napona 4000 V. Čip ograničava struju kratkog spoja na oko četverostruku vrijednost nazivne struje i može unutar najviše 10 milisekundi sigurno biti isključen. Moderni upravljački uređaji mogu utvrditi kratki spoj unutar manje od 5 milisekundi i odmah reagirati. Zbog toga je naziv »osjetljiva grana« potpuno odgovarajući.

Daljnji razvoj IGBT-a za još više zaporne napone zahtijeva niz primjena u transportu, industriji i po prvi puta kod visokonaponskih istosmjernih prijenosa. Također nova područja visokog napona kao npr. primjena snažnih impulsa, počinju koristiti prednosti visokonaponskih IGBT-a. U svim tim slučajevima mogu ventili IGBT značajno doprinijeti povećanju mogućnosti energetske elektronike kao i smanjenju dimenzija i cijene.

ABB Technik 3/2002